

**PROJECTIVE LENS AND SCANNING EXPOSURE DEVICE**

Patent Number: JP11258498  
Publication date: 1999-09-24  
Inventor(s): SUZUKI KOSUKE  
Applicant(s): NIKON CORP  
Requested Patent: JP11258498  
Application Number: JP19980082625 19980313  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G02B13/00; G02B7/02; G03F7/20; H01L21/027  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a projective lens by which the deterioration of the anisotropic imaging characteristic caused by the absorption of the illumination light can be inhibited by performing the initial adjustment so that a first direction (X direction) perpendicular to an optical axis and a second direction (Y direction) perpendicular to the optical axis and the first direction have the different imaging characteristics.

**SOLUTION:** A wafer stage WST comprises an XY stage 18 movable on a base in the Y-axis direction as a scanning direction and an X-axis direction perpendicular to the Y-axis direction, and a Z stage 17 mounted on the XY stage 18. In the initial adjustment of a projective optical system PL forming a scanning exposure device 100, the anisotropic distortion is adjusted to be sorting manner. By performing the initial adjustment of the projective optical system PL to estimate and sorting the anisotropic imaging characteristic by the absorption of the illumination light of the projective optical system PL, the deterioration of the exposure accuracy caused by the change of the anisotropic imaging characteristic can be suppressed.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-258498

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月24日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 2 B 13/00  
7/02  
G 0 3 F 7/20  
H 0 1 L 21/027

識別記号

5 2 1

F I

G 0 2 B 13/00  
7/02

G 0 3 F 7/20  
H 0 1 L 21/30

C

5 2 1

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数15 F D (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平10-82625

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月13日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 鈴木 広介

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

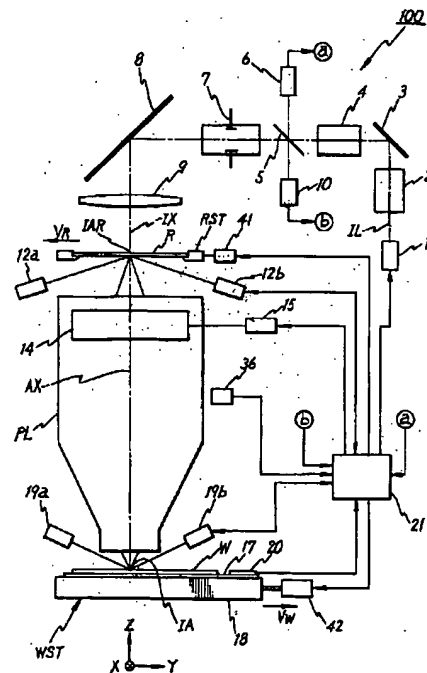
(74) 代理人 弁理士 立石 篤司 (外1名)

(54) 【発明の名称】 投影レンズ及び走査型露光装置

(57) 【要約】

【課題】 投影光学系の照明光吸収による異方性結像特性の変化を抑制して露光精度を向上させる。

【解決手段】 所定形状の照明光 I L で照射されたときにその照明光の吸収により生じる変動を考慮して投影光学系 P L の非走査方向 (X 方向) と走査方向 (Y 方向) の結像特性が異なるように初期調整されている。このため、露光中に投影光学系 P L が照明光を吸収した際に生じる非走査方向と走査方向についての異方性の結像特性の変化量が、非走査方向と走査方向の結像特性が異なるように初期調整されていない投影光学系を用いる場合に比べて抑制することができ、結果的に露光精度を向上させることができる。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 物体の像を第 2 物体に投影する投影レンズであって、その光軸に直交する第 1 方向と前記光軸及び前記第 1 方向に直交する第 2 方向とで結像特性が異なるように初期調整されたことを特徴とする投影レンズ。

【請求項 2】 所定形状の照明光で照射されたときにその照明光の吸収により生じる変動を考慮して前記第 1 方向と第 2 方向の結像特性が初期調整されたことを特徴とする請求項 1 に記載の投影レンズ。

【請求項 3】 前記第 1 方向と第 2 方向の結像特性の初期調整は、前記照明光吸収により生ずる前記第 1 方向と第 2 方向の結像特性の変化量の半分だけキャンセルするように、各々所望の結像特性に対してずらすことによって行われることを特徴とする請求項 2 に記載の投影レンズ。

【請求項 4】 前記初期調整の対象となる結像特性が前記第 1 方向を長辺とする長方形ディストーションであることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の投影レンズ。

【請求項 5】 前記長方形ディストーションの初期調整は、前記第 1 方向に比べて前記第 2 方向の倍率を所望の倍率から大きくずらすことによって行われることを特徴とする請求項 4 に記載の投影レンズ。

【請求項 6】 前記初期調整の対象となる結像特性が光軸中心の前記第 1 方向と第 2 方向についての結像位置のずれであることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の投影レンズ。

【請求項 7】 前記光軸中心の前記第 1 方向と第 2 方向についての結像位置のずれの初期調整は、前記第 1 方向の周期パターンの結像面と前記第 2 方向の周期パターンの結像面との所定の一方を他方より投影光学系に近い方にずらすことにより行われることを特徴とする請求項 6 に記載の投影レンズ。

【請求項 8】 マスクと基板とを同期移動しつつ前記マスクを所定形状の照明光で照明して、前記パターンを投影光学系を介して前記基板上に転写する走査型露光装置であって、前記第 2 方向を前記同期移動方向として、前記投影光学系として請求項 1～7 のいずれか一項に記載の投影レンズを装備したことを特徴とする走査型露光装置。

【請求項 9】 マスクと基板とを所定の走査方向に同期して相対走査しつつ前記マスクを所定形状の照明光で照明して、前記パターンを投影光学系を介して前記基板上に転写する走査型露光装置であって、前記投影光学系が、前記走査方向とこれに直交する非走査方向とで異なる結像特性を有し、前記投影光学系の前記非走査方向と前記走査方向についての結像位置のずれを考慮して、前記基板を位置決めすることにより前記投影光学系の結像面と前記基板との前記投影光学系の光軸方向の位置関係を調整するフォーカ

ス補正装置を備えることを特徴とする走査型露光装置。

【請求項 10】 前記投影光学系の前記照明光の吸収による異方性の結像特性の変化を監視し、この変化量が所定のしきい値に達した時点で露光動作を中断する結像特性監視装置を更に備えることを特徴とする請求項 9 に記載の走査型露光装置。

【請求項 11】 マスクと基板とを所定の走査方向に同期して相対走査しつつ前記マスクを所定形状の照明光で照明して、前記パターンを投影光学系を介して前記基板上に転写する走査型露光装置であって、前記投影光学系の前記照明光の吸収による異方性の結像特性の変化を監視し、この変化量が所定のしきい値に達した時点で露光動作を中断する結像特性監視装置を備えることを特徴とする走査型露光装置。

【請求項 12】 前記監視対象の前記異方性の結像特性は、長方形ディストーション及び前記光軸中心の前記非走査方向及び前記走査方向についての結像位置のずれの少なくとも一方であることを特徴とする請求項 10 又は 11 に記載の走査型露光装置。

【請求項 13】 前記結像特性監視装置は、前記長方形ディストーションの変化を前記非走査方向の倍率変化と前記走査方向の倍率変化の差に基づいて監視し、前記光軸中心の前記非走査方向及び前記走査方向についての結像位置のずれを前記マスク上に形成された前記非走査方向の周期パターンの結像面と前記走査方向の周期パターンの結像面との差に基づいて監視することを特徴とする請求項 12 に記載の走査型露光装置。

【請求項 14】 前記結像特性監視装置は、前記露光動作の中断後も、前記投影光学系の前記異方性結像特性の変化を監視し続け、その結像特性が予め定めた基準まで減衰したときに前記露光動作を再開することを特徴とする請求項 10～13 のいずれか一項に記載の走査型露光装置。

【請求項 15】 前記投影光学系のフォーカス以外の回転対称な結像特性の変化を補正する結像特性補正装置を更に備えることを特徴とする請求項 9 に記載の走査型露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、投影レンズ及び走査型露光装置に係り、更に詳しくは、マスクと基板とを同期移動させつつマスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写する走査型露光装置、及びこの走査型露光装置の投影光学系として好適な投影レンズに関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、種々の露光装置が使用されており、現在では、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを、投影光学系を介して表面にフォトレジスト等の感光

剤が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に転写する投影露光装置、例えば所謂ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）が用いられている。

【0003】近年、半導体素子の高集積化に伴い、矩形又は円弧状の照明光によりレチクルを照明し、レチクル及び基板を投影光学系に対して1次元方向に同期走査することにより、レチクルパターンを投影光学系を介して基板上に逐次転写する所謂スリット・スキャン方式、あるいは、所謂ステップ・アンド・スキャン方式などの走査型露光装置が開発されるようになってきた。かかる走査型露光装置によれば、収差の最も少ない投影光学系の有効露光フィールドの一部（中央部）のみを使用してレチクルパターンの転写が可能となるため、静止型露光装置に比べてより微細なパターンをより高精度に露光することが可能になる。また、走査型露光装置によれば、走査方向には投影光学系の制限を受けずに露光フィールドを拡大することができるので、大面積露光が可能であり、また、投影光学系に対してレチクル及びウエハを相対走査することで平均化効果があり、ディストーションや焦点深度の向上が期待出来る等のメリットがある。

【0004】ところで、投影露光装置に用いられる投影光学系の投影倍率等の結像特性は、装置の僅かな温度変化や、投影露光装置の置かれたクリーンルーム内の大気の僅かな気圧変動、湿度変化、及び投影光学系への露光光による照射エネルギーの照射履歴等により、所定の倍率の近傍で変動する。このため、近年の投影露光装置では、所望の結像特性を維持するため投影光学系の結像特性を微調整する結像特性補正機構が設けられている。この結像特性補正機構としては、例えば、レチクルと投影光学系との間隔を変化させる機構、投影光学系を構成する特定のレンズエレメントを光軸方向に駆動したり、傾斜方向に駆動したりする機構、あるいは投影光学系中に設けた所定の密閉室内の圧力を調整する機構等が知られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、走査型露光装置においては、レチクルを照明する照明領域が非走査方向に細長い矩形又は円弧状の形状であるため、投影光学系が照明光を吸収することによって、非回転対称、すなわち光軸に直交する直交2軸方向に関して変化の様子が異なる結像特性（以下、本明細書において「異方性結像特性」と呼ぶ）の変化も発生する。

【0006】これを更に詳述する。ここでは、照明領域が非走査方向に細長い矩形（長方形）である場合を例をとって説明する。図11には、走査型露光装置に用いられる投影光学系PL'を光軸方向から見た図が示されている。この図の点線で示される領域IAが照明領域である。一般に、投影光学系は、露光中に露光用の照明光を吸収して温度分布が生じるが、走査型露光装置では、照

明領域IRAが長方形であることから、その温度分布が図12のように照明領域に依存した分布になってしまう。この図12のから明らかなように、非走査方向では周辺部から中心部に行くにつれて温度が徐々に高くなるような温度分布を示し、万遍なく照明されているが、走査方向では、周辺部の低温部から中心部の高温部に向かって急激な温度変化を示し、照明領域がかなり限定されている。このため、非走査方向では図12のA-A線断面図である図13に模式的に示されるように、投影光学系PL'の曲率が増加するのに対して、走査方向では図12のB-B線断面図である図14に模式的に示されるように、照明領域内では曲率変化が大きくなってしまふ。なお、図13及び図14は、投影光学系PL'を1枚のレンズとして模式的に示すものであるが、投影光学系を構成する各レンズエレメントが上記のような熱変形を生じると考えても差し支えなく、あるいは投影光学系PL'自体を1枚の大型レンズと考え、これ上記のような熱変形を生じるものと考えても良い。

【0007】かかる投影光学系PL'内の走査方向、非走査方向の温度分布の偏り、及びこれに伴う投影光学系PL'の走査方向、非走査方向の回転非対称な熱変形に起因して以下に述べるような異方性の結像特性変化が発生する。

① 投影光学系PL'の照明光の吸収により照明領域IRAのウエハ面上への投影像には、長方形ディストーションが発生してしまう。

② また、図15に示されるように、レチクルR上の照明領域IRAの中心（即ち投影光学系PL'の光軸中心近傍）に配置された、走査方向に所定周期を有するラインアンドスペース（L/S）パターン（以下「Hパターン」と呼ぶ）と非走査方向に所定周期を有するL/Sパターン（以下「Vパターン」と呼ぶ）とから成る複合パターンをウエハ上に投影する場合を考える。この場合、上述の如く、照明光の吸収によって異方性の温度分布を生じるため、図16に示されるように、Vパターンから発生した非走査方向の回折光は投影光学系PL'の比較的曲率変化が緩やかな面を通して所定の結像面（Vパターンベストフォーカス面）に結像する。これに対し、図17に示されるように、Hパターンから発生した走査方向の回折光は比較的投影レンズの曲率変化が大きい面を通して所定の結像面（Hパターンベストフォーカス面）に結像する。この結果、図18に示されるように、Vパターンベストフォーカス面とHパターンベストフォーカス面とは、Fcaだけのずれが生じる。すなわち、投影光学系PL'の光軸中心上で直交2軸方向についての結像面のずれ（本明細書では、かかる光軸中心上での第1方向と第2方向についての結像位置のずれを「センターアス」と呼ぶ）が発生する。

【0008】上述の①の長方形ディストーション、②のセンターアス等の異方性結像特性は、従来はそれほど問

題ではなかったが、最近のデバイスルール0.25 $\mu$ mの時代になって、かかる異方性結像特性が露光精度に与える影響がクローズアップされるようになってきた。しかし、上述した現状の結像特性補正機構では、かかる異方性結像特性を補正することは困難である。

【0009】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、照明光の吸収に起因する異方性結像特性の劣化を抑制することができる投影レンズを提供することにある。

【0010】また、本発明の第2の目的は、投影光学系の照明光吸収による異方性結像特性の変化を抑制して露光精度を向上させることができる走査型露光装置を提供することにある。

【0011】さらに、本発明の第3の目的は、投影光学系の照明光の吸収に起因する異方性結像特性の劣化による露光不良の発生を確実に防止することができる走査型露光装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、第1物体(R)の像を第2物体(W)に投影する投影レンズ(PL)であって、その光軸に直交する第1方向(X方向)と前記光軸及び前記第1方向に直交する第2方向(Y方向)とで結像特性が異なるように初期調整されたことを特徴とする。

【0013】通常、投影レンズは、第1物体の像を第2物体に投影するため、照明光で照明されるが、この照明光の吸収によって結像特性が変化する。この結像特性の変化は、照明光の吸収による投影レンズの温度分布に左右され、非回転対称な結像特性の変化が生じ得る。そこで、本発明の如く、光軸に直交する第1方向と光軸及び第1方向に直交する第2方向とで結像特性が異なるよう結像特性を初期調整することにより、例えば、上記の非回転対称な結像特性変化を抑制できる場合がある。

【0014】かかる意味で、請求項2に記載の発明の如く、所定形状の照明光で照射されたときにその照明光の吸収により生じる変動を考慮して前記第1方向と第2方向の結像特性を初期調整することが望ましい。かかる場合には、確実に照明光吸収による非回転対称な結像特性変化を抑制できる。

【0015】この場合において、請求項3に記載の発明の如く、前記第1方向と第2方向の結像特性の初期調整は、前記照明光吸収により生ずる前記第1方向と第2方向の結像特性の変化量の半分だけキャンセルするように、各々所望の結像特性に対してずらすことによって行われることが望ましい。かかる場合には、照明光吸収による結像特性の最大悪化分を実質的に半分に抑え込むことが可能になる。

【0016】上記請求項2又は3に記載の投影レンズにおいて、初期調整の対象となる結像特性は種々考えられ、例えば、請求項4に記載の発明の如く、前記初期調

整の対象となる結像特性が前記第1方向を長辺とする長方形ディストーションであっても良い。この場合、請求項5に記載の発明の如く、前記長方形ディストーションの初期調整は、前記第1方向に比べて前記第2方向の倍率を所望の倍率から大きくずらすことによって行われることが望ましい。第1方向を長辺とする長方形ディストーションが生ずるのは、通常照明領域が第1方向に長い形状を有する場合であり、投影レンズは第1方向についてはほぼ万遍なく照明され、第2方向については限られた範囲が照明される。従って、照明光吸収による投影レンズの倍率変化は第2方向が大きく、第1方向が小さくなるので、第1方向に比べて前記第2方向の倍率を所望の倍率から大きくずらすことによって、効果的に長方形ディストーションを抑制することができる。

【0017】また、上記請求項2又は3に記載の投影レンズにおいて、請求項6に記載の発明の如く、前記初期調整の対象となる結像特性が光軸中心の前記第1方向と第2方向についての結像位置のずれであっても良い。この場合、請求項7に記載の発明の如く、前記光軸中心の前記第1方向と第2方向についての結像位置のずれの初期調整は、前記第1方向の周期パターンと前記第2方向の周期パターンの結像面との所定の一方を他方より投影光学系に近い方にずらすことにより行われることが望ましい。例えば、第1方向に長い矩形形状の照明光で投影レンズが照明される場合には、その照明光吸収による温度分布に起因して第2方向の周期パターンの結像面の位置が第1方向の結像面の位置より投影光学系から遠くなるので、予めこれをキャンセルするように、すなわち、第2方向の周期パターンの結像面を第1方向の周期パターンの結像面より投影光学系に近い方にずらすことにより、光軸中心の前記第1方向と第2方向についての結像位置のずれの変化の最悪値を効果的に抑制することができる。

【0018】請求項8に記載の発明は、マスク(R)と基板(W)とを同期移動しつつ前記マスクを所定形状の照明光で照明して、前記パターンを投影光学系(PL)を介して前記基板上に転写する走査型露光装置であって、前記第2方向を前記同期移動方向として、前記投影光学系として請求項1～7のいずれか一項に記載の投影レンズを装備したことを特徴とする。

【0019】これによれば、請求項1～7に記載の各発明に係る投影レンズを投影光学系として装備することから、この投影レンズにより照明光吸収による第1方向(非走査方向)と第2方向(同期移動方向すなわち走査方向)についての異方性の結像特性の変化の劣化を抑制することができ、結果的に露光精度を向上させることができる。

【0020】請求項9に記載の発明は、マスク(R)と基板(W)とを所定の走査方向に同期して相対走査しつつ前記マスクを所定形状の照明光で照明して、前記パタ

ーンを投影光学系(PL)を介して前記基板上に転写する走査型露光装置であって、前記投影光学系が、前記走査方向とこれに直交する非走査方向とで異なる結像特性を有し、前記投影光学系の光軸中心の前記非走査方向と前記走査方向についての結像位置のずれを考慮して、前記基板を位置決めすることにより前記投影光学系の結像面と前記基板との前記投影光学系の光軸方向の位置関係を調整するフォーカス補正装置(12、17、19、21、42)を備えることを特徴とする。

【0021】これによれば、走査露光中に、フォーカス補正装置により、投影光学系の光軸中心の非走査方向と走査方向についての結像位置のずれを考慮して、基板を位置決めすることにより投影光学系の結像面と基板との投影光学系の光軸方向の位置関係が調整される。この投影光学系の結像面と基板との光軸方向の位置関係の調整、すなわちフォーカスの補正は、例えば、マスク上の非走査方向の周期パターンの結像面と走査方向の周期パターンの結像面との中間をフォーカス目標位置として行われる。このため、走査露光中の投影光学系の照明光吸収により光軸中心の走査方向と非走査方向とで結像位置のずれに起因するデフォーカス量を小さく、例えば半分にすることができ、結果的に露光精度を向上させることができる。

【0022】この場合において、請求項10に記載の如く、前記投影光学系(PL)の前記照明光の吸収による異方性の結像特性の変化を監視し、この変化量が所定のしきい値に達した時点で露光動作を中断する結像特性監視装置(21)を更に備えていても良い。かかる場合には、結像特性監視装置により、投影光学系の照明光の吸収による異方性の結像特性の変化、すなわち走査方向と非走査方向とで値が異なる非回転対称な結像特性の変化が監視され、この変化量が所定のしきい値に達した時点で露光動作が中断される。このため、上記の異方性結像特性の変化が許容値を超えることに起因する露光不良の発生を確実に防止することができる。

【0023】なお、この場合は、投影光学系として、走査方向とこれに直交する非走査方向とで異なる結像特性を有するものが用いられているので、通常の走査方向と非走査方向とで同様の結像特性を有するように調整された投影光学系を用いる場合に比べて上記のしきい値、すなわち許容値に達するまでの時間を遅らせることができる。

【0024】請求項11に記載の発明は、マスク(R)と基板(W)とを所定の走査方向に同期して相対走査しつつ前記マスクを所定形状の照明光で照明して、前記パターンを投影光学系(PL)を介して前記基板上に転写する走査型露光装置であって、前記投影光学系の前記照明光の吸収による異方性の結像特性の変化を監視し、この変化量が所定のしきい値に達した時点で露光動作を中断する結像特性監視装置を備えることを特徴とする。

【0025】これによれば、結像特性監視装置により、投影光学系の照明光の吸収による異方性の結像特性の変化、すなわち走査方向と非走査方向とで値が異なる非回転対称な結像特性の変化が監視され、この変化量が所定のしきい値に達した時点で露光動作が中断される。このため、上記の異方性結像特性の変化が許容値を超えることに起因する露光不良の発生を確実に防止することができる。

【0026】請求項10又は11に記載の走査型露光装置において、監視対象の異方性の結像特性は種々考えられ、例えば、請求項12に記載の発明の如く、前記監視対象の前記異方性の結像特性は、長方形ディストーション及び前記光軸中心の前記非走査方向及び前記走査方向についての結像位置のずれの少なくとも一方であっても良い。

【0027】この場合において、請求項13に記載の発明の如く、前記結像特性監視装置(21)は、前記長方形ディストーションの変化を前記非走査方向の倍率変化と前記走査方向の倍率変化の差に基づいて監視し、前記光軸中心の前記非走査方向及び前記走査方向についての結像位置のずれを前記マスク(R)上に形成された前記非走査方向の周期パターンの結像面と前記走査方向の周期パターンの結像面との差に基づいて監視するようにすれば良い。

【0028】上記請求項10～13に記載の各発明に係る走査型露光装置において、露光中断から一定の時間が経過した後に露光を再開することも可能であるが、かかる場合には上記の一定の時間が短すぎると、再開後すぐに異方性結像特性が上記しきい値に達してしまい、反対に上記の一定の時間が長すぎると、必要以上に露光中断時間が長くなってスループットを不要に悪化しまう。そこで、請求項14に記載の発明の如く、前記結像特性監視装置(21)は、前記露光動作の中断後も、前記投影光学系の前記異方性結像特性の変化を監視し続け、その結像特性が予め定めた基準まで減衰したときに前記露光動作を再開することが望ましい。かかる場合には、上記のような不都合がなく、必要最低限の中断時間の設定が可能となり、スループットを極力低下させることなく、しかも異方性結像特性の劣化に起因する露光不良の発生を確実に防止することができる。

【0029】上記請求項9に記載の走査型露光装置において、請求項15に記載の発明の如く、前記投影光学系(PL)のフォーカス以外の回転対称な結像特性の変化を補正する結像特性補正装置(14、15)を更に備えていても良い。かかる場合には、結像特性補正装置により、フォーカス以外の回転対称な結像特性(倍率、ディストーション、像面湾曲、コマ収差、球面収差等)を補正することができるので、線幅制御性、重ね合せ精度等の露光精度を一層向上させることができる。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態を図 1 ないし図 9 に基づいて説明する。

【0031】図 1 には、本発明に係る投影レンズを投影光学系として装備した一実施形態に係る走査型露光装置 100 の概略的な構成が示されている。この走査型露光装置 100 は、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置である。

【0032】この走査型露光装置 100 は、光源 1 及び照明光学系 (2~10) を含む照明系、マスク (第 1 物体) としてのレチクル R を保持するレチクルステージ RST、投影光学系 PL、投影光学系 PL 内に設けられ倍率等の結像特性を補正する結像特性補正機構 14、結像特性補正機構 14 を制御するレンズコントローラ 15、基板 (第 2 物体) としてのウエハ W を保持して XY 面内を 2 次元移動するウエハステージ WST、及びこれらの制御系等を備えている。

【0033】前記照明系は、光源 1、第 1 フライアイレンズ 2、振動ミラー 3、第 2 フライアイレンズ 4、ハーフミラー 5、インテグレートセンサ 6、レチクルブラインド 7、折り曲げミラー 8、コンデンサーレンズ系 9 及び反射率センサ 10 等を含んで構成されている。

【0034】ここで、この照明系の構成各部についてその作用とともに説明すると、光源 1 で発生した露光光としての照明光 IL は不図示のシャッターを通過した後、第 1 フライアイレンズ 2 により照度分布 (強度分布) がほぼ均一な光束に変換される。照明光 IL としては、例えば KrF エキシマレーザ光 (波長 248 nm) や ArF エキシマレーザ光 (波長 193 nm)、あるいは F<sub>2</sub> エキシマレーザ光 (波長 157 nm) 等が用いられる。

【0035】第 1 フライアイレンズ 2 から射出された光束は、被照射面 (レチクル面又はウエハ面) に生じる干渉縞や微弱なスベクルを平滑化するための振動ミラー 3 を介して水平方向に折り曲げられ、第 2 フライアイレンズ 4 によって照度分布が更に均一な光束とされ、ハーフミラー 5 に至る。そして、この光束 (パルス照明光) IL の大部分 (97% 程度) は、ハーフミラー 5 を透過してレチクルブラインド 7 を均一な照度で照明する。

【0036】ここで、レチクルブラインド 7 は、2 枚の可動ブラインドとその近傍に配置された開口形状が固定された固定ブラインドとから構成されている。このレチクルブラインド 7 によりレチクル R を照明する際のスリット状の照明領域 IAR の幅を所望の大きさに設定できるようにになっている。

【0037】レチクルブラインド 7 を通過した光束は、折り曲げミラー 8 に至り、ここで鉛直下方に折り曲げられ、コンデンサーレンズ系 9 を介して回路パターン等が描かれたレチクル R の照明領域 IAR 部分を照明する。

【0038】一方、前記残り (3% 程度) のパルス照明光 IL は、ハーフミラー 5 で反射され、インテグレートセンサ 6 によって受光されるようになってい

る。インテグレートセンサ 6 によりレチクル R に対する照明光量を検出することができる。このインテグレートセンサ 6 からの光量信号が主制御装置 21 に供給されている。

【0039】前記反射率モニタ 10 は、後述する投影光学系 PL の照明光吸収による結像特性 (諸収差) の変動、即ち照射変動を算出するための基礎となるウエハ反射率測定に用いられるもので、投影光学系 PL 側からコンデンサーレンズ系 9、折り曲げミラー 8、レチクルブラインド 7 を介して戻って来た光の光量を検出する。この反射率モニタ 10 からの光量信号も主制御装置 21 に供給されている。なお、ウエハ反射率測定については、後に詳述する。

【0040】前記レチクルステージ RST 上にはレチクル R が、例えば真空吸着により固定されている。なお、レチクル R に用いる材質は、使用する光源によって使い分ける必要がある。すなわち、KrF エキシマレーザ光源や ArF エキシマレーザ光源を光源とする場合は、合成石英を用いることができるが、F<sub>2</sub> エキシマレーザ光源を用いる場合は、ホタル石で形成する必要がある。

【0041】レチクルステージ RST は、不図示のレチクルベース上をリニアモータ等で構成されたレチクル駆動部 41 により駆動され、照明光学系の光軸 IX (後述する投影光学系 PL の光軸 AX に一致) に垂直な平面内で所定の走査方向 (ここでは Y 軸方向とする) に所定ストロークの範囲内で移動可能となっている。

【0042】レチクルステージ RST の位置は、不図示のレチクルレーザ干渉計システムによって例えば数 nm ~ 1 nm 以下の分解能で常時計測されており、この干渉計システムからのレチクルステージ RST の位置情報は、主制御装置 21 に送られ、主制御装置 21 ではレチクルステージ RST の位置情報に基づいてレチクル駆動部 41 を介してレチクルステージ RST を制御する。なお、レチクルレーザ干渉計システムの測長軸は、例えば走査方向に 2 軸、非走査方向には 1 軸設けられる。

【0043】前記投影光学系 PL は、レチクルステージ RST の図 1 における下方に配置され、その光軸 AX (照明光学系の光軸 IX に一致) の方向が Z 軸方向とされている。この投影光学系 PL は、ここでは両側テレセントリックな光学配置となるように光軸 AX 方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメントから成る屈折光学系が使用されている。この投影光学系 PL は所定の投影倍率、例えば 1/4 (あるいは 1/5) を有する縮小光学系である。このため、照明光学系からの照明光 IL によって第 1 物体としてのレチクル R の照明領域 IAR が照明されると、このレチクル R を通過した照明光 IL により、投影光学系 PL を介してレチクル R の回路パターンの一部が表面にフォトリソが塗布された第 2 物体としてのウエハ W 上に縮小投影される。

【0044】また、投影光学系 PL の内部には、前記の如く、結像特性補正機構 14 が設けられている。この結

像特性補正機構14としては、本実施形態では、図2に示されるように、投影光学系PLを構成する複数のレンズ要素の内、特定の複数(ここでは5つ)のレンズ群22、23、24、25、26のそれぞれを、ピエゾ素子などの圧電素子27、28、29、30、31を用いて独立に光軸AX方向(Z方向)及びXY面に対する傾斜方向に駆動可能とした機構が用いられている。前記レンズ群22、23、24、25、26は、それぞれのホルダ(金物)を介して各3つの圧電素子27、28、29、30、31によって鏡筒PPに対して3点で支持されている。このため、各3つの圧電素子27、28、29、30、31のそれぞれを独立して駆動することにより、各レンズ群22、23、24、25、26を光軸AX方向(Z方向)及びXY面に対する傾斜方向に駆動できるようになっている。また、圧電素子27~31による各支持点の駆動量は、不図示の位置センサによりそれぞれモニタされるようになっている。かかる位置センサとしては、例えば、静電容量式の非接触変位センサ、渦電流式の非接触変位センサ、リニアエンコーダ、レーザ干渉計等、種々の変位センサを用いることができる。各レンズ群22、23、24、25、26を光軸方向に駆動し、あるいは傾斜させることにより、種々の結像特性が変化して、各レンズ群の光軸方向駆動及び傾斜駆動の任意の組み合わせによって、ほぼ所望の結像特性に調整することができるようになっている。

【0045】本実施形態では、後述するように、上記結像特性補正機構14によって、5つの収差、具体的には像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差を補正するようになっており、この結像特性補正機構14とレンズコントローラ15とによって、レチクルRのパターン像の結像特性を補正する結像特性補正装置が構成されている。この結像特性補正装置による結像特性補正の具体的な内容については後に詳述する。ここで、本実施形態ではレンズ群の駆動で結像特性を補正する結像特性補正機構14が採用されているが、この結像特性補正機構に代えて、あるいはこれと共に、特定のレンズ要素相互間に密封室を形成し、この密封室内の内圧を変更する機構を設けても良い。

【0046】なお、照明光ILとしてKrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光を用いる場合には、投影光学系PLを構成する各レンズ要素としては合成石英等を用いることができるが、F<sub>2</sub>エキシマレーザ光を用いる場合には、この投影光学系PLに使用されるレンズの材質は、全てホタル石が用いられる。

【0047】図1に戻り、前記ウエハステージWSTは、不図示のベース上を走査方向であるY軸方向(図1における左右方向)及びこれに直交するX軸方向(図1における紙面直交方向)に移動可能なXYステージ18と、このXYステージ18上に設けられたZステージ17とを備えている。

【0048】XYステージ18は、実際には、2次元平面モータ等によって不図示のベース上でXY2次元方向に駆動されるようになっており、また、Zステージ17は、不図示の駆動機構によりZ方向に所定範囲(例えば100 $\mu$ mの範囲)内で駆動されるようになっており、図1ではこれらの2次元平面モータ、駆動機構等が代表してウエハ駆動装置42として図示されている。

【0049】Zステージ17上に不図示のウエハホルダを介してウエハWが吸着保持されている。また、Zステージ17上には、レチクルR及び投影光学系PLを透過してウエハ面に達する照射量を検出する照射量センサ20が設けられている。この照射量センサ20の検出値は主制御装置21に供給されるようになっている。

【0050】前記Zステージ17(即ちウエハW)のXY面内の位置は、不図示のウエハレーザ干渉計システムによって例えば数nm~1nm以下の分解能で常時計測されており、この干渉計システムからのZステージ17の位置情報は、主制御装置21に送られ、主制御装置21ではZステージ17の位置情報に基づいてウエハ駆動装置42を介してウエハWをXY面内で位置制御する。

【0051】なお、ウエハレーザ干渉計システムの測長軸は、例えば走査方向に1軸、非走査方向に2軸設けられる。

【0052】更に、本実施形態の走査型露光装置100では、不図示の保持部材を介して投影光学系PLに一体的に取り付けられた、2つのオートフォーカス検出系、すなわち、レチクルオートフォーカス検出系(以下、「レチクルAF系」という)12及びウエハオートフォーカス検出系(以下、「ウエハAF系」という)19が設けられている。

【0053】ウエハAF系19としては、ウエハWに斜めから検出ビームを照射する照射光学系19aと、この検出ビームのウエハW面からの反射光を受光する受光光学系19bとを備え、ウエハWのZ方向の位置を検出する斜入射光式の焦点位置検出系が用いられている。このウエハAF系19としては、例えば特公平8-21531号公報等に開示された焦点位置検出系が用いられる。

【0054】また、レチクルAF系12は、レチクルRのパターン面に斜めから検出ビームを照射する照射光学系12aと、この検出ビームのレチクル面からの反射光を受光する受光光学系12bとを備えた斜入射光式の焦点位置検出系が用いられている。レチクルAF系12は、レチクルRのパターン面の光軸IX及びその近傍の領域のZ方向の位置を検出するためのものである。このレチクルAF系12としても上記特公平8-21531号公報等に開示されたものと同様の構成のものを用いることができる。

【0055】なお、AF系としては、斜入射光式に限らず、例えば、ウエハ面、レチクル面のZ位置を計測する干渉計や投影光学系とウエハ又はレチクルとの間隔を直



接測定するオートフォーカスセンサを採用しても良い。

【0056】更に、本実施形態の走査型露光装置100では、投影光学系PLの近傍の環境の変化を検出する環境センサ36が設けられている。環境センサ36としては、気圧センサ（圧力センサ）、温度センサ、湿度センサなど種々のものを設けることができる。しかし、通常投影光学系を含む露光装置本体部分は、温度、湿度を厳しく管理されたチャンバの中に置かれているので、温度、湿度変化が結像特性に与える影響は、気圧変化に比べて小さいと考えられるので、ここでは、環境センサ36として気圧センサを設けるものとする。但し、例えば、ArFエキシマレーザ等の短波長の光を光源1として用いる場合、光路中に酸素があると光化学反応を起こしてオゾンが発生し、人体に悪影響があったり、レンズの表面コート（被膜）の材質によっては曇りの原因ともなり得る。これを避けるために、投影光学系PL内部を窒素で充填あるいはフローすることがある。また、大気圧変化による結像特性変化を抑えるために、ヘリウムを充填あるいはフローすることがある。ヘリウムは空気（大気）に比べて屈折率が小さいので大気圧（チャンバ内の気圧）が変化した場合の結像特性変化が小さいメリットがある。このように、投影光学系PLの内部と外部とで別系統の空調をもっていると、必ずしも投影光学系PLの内外で同じ気圧とはならない。

【0057】かかる点を考慮して、本実施形態では、図2に示されるように、投影光学系PL内部の気体の圧力（以下、適宜「内気圧」という）を検出する内気圧センサ36aと、投影光学系PL外部のチャンバ内の気圧（以下、適宜「外気圧」という）を計測する外気圧センサ36bとが設けられている。図1では、これら内気圧センサ36aと、外気圧センサ36bとが代表的に環境センサ36として示されているものとする。大気圧（上記の外気圧、内気圧）の変化による結像特性変化の計算方法については、後述する。

【0058】なお、投影光学系PL自身の温度、湿度依存性が大きい場合には、環境センサ36として、温度、湿度等を計測できるセンサを設けて、その計測値を基に後述する大気圧変化による結像特性変化と同様の計算により、温度、湿度変化による結像特性変化をも求めれば良い。

【0059】この他、本実施形態の走査型露光装置100では、ウエハW上の各ショット領域に付設された不図示のアライメントマークを検出するためのオフアクシス方式のアライメント系（図示省略）等も設けられている。主制御装置21では、次に説明する走査露光に先立ってアライメント系を用いてウエハW上のアライメントマークの位置検出を行い、この検出結果に基づいてレチクル駆動部41及びウエハ駆動装置42によりレチクルRとウエハWとの位置合わせ（アライメント）を行うようになっている。

【0060】次に、本実施形態の走査型露光装置100における走査露光の原理について簡単に説明する。レチクルRの走査方向（Y軸方向）に対して垂直な方向（X軸方向）に長手方向を有する長方形（スリット状）の照明領域IARでレチクルRが照明され、レチクルRは露光時に-Y方向に速度 $V_y$ で走査（スキャン）される。照明領域IAR（中心は光軸AXとほぼ一致）は投影光学系PLを介してウエハW上に投影され、照明領域IARに共役なスリット状の投影領域、すなわち露光領域IAが形成される。ウエハWはレチクルRとは倒立結像関係にあるため、ウエハWは速度 $V_y$ の方向とは反対方向（+Y方向）にレチクルRに同期して速度 $V_y$ で走査され、ウエハW上のショット領域の全面が露光可能となっている。この走査露光の際の、レチクルRとウエハW、すなわちレチクルステージRSTとウエハステージWSTとがレチクル駆動部41、ウエハ駆動装置42及び主制御装置21によって、正確に投影光学系PLの縮小倍率に応じた速度比 $V_y/V_x$ （ $=1/4$ 又は $1/5$ ）で同期移動されるようになっており、レチクルRのパターン領域のパターンがウエハW上のショット領域上に正確に縮小転写される。また、走査（スキャン）することによりレチクルR上のパターン領域全面が照明され、レチクルRのパターン領域の全面がウエハW上に逐次転写されるようになっている。

【0061】また、上記の走査露光中に、ウエハAF系19、レチクルAF系12の検出信号に基づいて、レチクルRのパターン面とウエハW表面とが投影光学系PLに関して共役となるように主制御装置21によりウエハ駆動装置42を介してZステージ17がZ軸方向に駆動制御され、フォーカス補正が実行される。なお、このフォーカス補正についても更に後述する。

【0062】本実施形態の走査型露光装置100では、上記のようなウエハW上のショット領域に対する走査露光によるレチクルパターンの転写と、次ショット領域の走査開始位置へのステッピング動作とを繰り返し行うことにより、ステップ・アンド・スキャン方式の露光が行われ、ウエハW上の全ショット領域にレチクルパターンが転写されるようになっている。

【0063】次に、走査型露光装置100におけるフォーカス補正について説明する。まず、投影光学系PL自身のフォーカス変化を考慮しない最も単純な場合について説明する。

【0064】まず、レチクルRとウエハWの共役関係を出すために、基準となるZステージ17の位置を求める。具体的には、次の通りである。

【0065】すなわち、所定の計測用マークが描かれた計測用レチクルをレチクルステージRSTの所定の場所に搭載してZステージ17をZ方向及びX又はY方向にステップ送りしながら前記計測用マークを感光剤が塗布されたウエハW上に転写する。次に、このウエハWを光

学顕微鏡で観察して焼き付けたマーク形状が最も良好な（例えばマーク形状が最も大きいあるいはマークのエッジが最も立っている）Zステージ17の位置Z<sub>best</sub>を、メモリ内に記憶されている各目標値Z<sub>i</sub>と位置P<sub>i</sub>との対応関係のデータに基づいて見つける。そして、位置Z<sub>best</sub>を基準位置とし、その基準位置にZステージ17がある時のレチクルAF系12、ウエハAF系19の出力をそれぞれのAF基準位置としてメモリに記憶しておく。以降のフォーカス変動補正はこの基準位置からの変位で管理することとなる。

【0066】なお、後述する異方性フォーカスずれによりパターンの方角別でベストフォーカス面が異なることが想定される。従って、ここで述べているフォーカスとは異方性フォーカスを考慮した平均的なベストフォーカス面を指すこととする。

【0067】そして、実際の走査露光時に、主制御装置21では、レチクルAF系12とウエハ系AF19との出力が上述したそれぞれのAF基準位置から変動しないように（すなわち、レチクルRとウエハWとの光学的な距離を一定の値に保つように）Zステージ17を光軸方向に駆動制御する。このようにしてフォーカスの補正が実行される。

【0068】これを更に詳述すると、AF基準位置に対する検出されたレチクルR、ウエハW側の変位を各々R<sub>z</sub>、W<sub>z</sub>、投影倍率をMLとすると、フォーカス変位ΔFは、

$$\Delta F = R_z \times ML^2 - W_z \quad \dots\dots (1)$$

と表される。ΔFが0となるようにZステージ17をZ軸方向に移動することで、レチクルRとウエハWの共役関係が保たれる。具体例を挙げると、レチクルRが走査\*30

$$F_{PRESS} = K_{FPIN} \times \Delta P_{IN} + K_{FPOUT} \times \Delta P_{OUT} \quad \dots\dots (3)$$

ここで、

K<sub>FPIN</sub> : 内気圧変化によるフォーカス変化率

K<sub>FPOUT</sub> : 外気圧変化によるフォーカス変化率

ΔP<sub>IN</sub> : 内気圧変化

ΔP<sub>OUT</sub> : 外気圧変化

である。

【0074】上記の内気圧、外気圧変化によるフォーカス変化率は、光学計算により求めても良く、あるいは実※

$$\begin{bmatrix} F_{PRESS} \\ CU_{PRESS} \\ MPRESS \\ DPRESS \\ CO_{PRESS} \\ SA_{PRESS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{FPIN} \\ K_{CUPIN} \\ K_{MPIN} \\ K_{DPIN} \\ K_{COPIN} \\ K_{SAPIN} \end{bmatrix} \cdot \Delta P_{IN} + \begin{bmatrix} K_{FPOUT} \\ K_{CUPOUT} \\ K_{MPOUT} \\ K_{DPOUT} \\ K_{COPOUT} \\ K_{SAPOUT} \end{bmatrix} \cdot \Delta P_{OUT} \quad \dots\dots (4)$$

【0077】ここで

F<sub>PRESS</sub> : 大気圧変化によるフォーカス変化

CU<sub>PRESS</sub> : 大気圧変化による像面湾曲変化

\*中にZ軸方向に10μmずれたとすると、投影倍率が0.25倍(1/4倍)の時にウエハW面では10μm × (1/4)<sup>2</sup> = 0.625μmの変位となって現れる。この時、意図的にウエハWをZ軸方向に0.625μm変位させること、すなわち前記式(1)中のW<sub>z</sub> = 0.625μmとなるようにすることでΔFを0とすることができ、レチクルRとウエハWとの光学的な距離を保つことができる。勿論、投影光学系PLの投影倍率が1/4倍に限定されるものではなく、投影倍率の2乗をレチクル側の変位量にかけることで対応することができる。

【0069】次に、大気圧変化や照明光吸収などの要因で投影光学系PL自身のフォーカスが変動した場合の補正について述べる。この時は前記の式(1)を拡張した次式(2)を用いることで、投影光学系PL自身のフォーカス変化にも対応できる。

$$\Delta F = FL + R_z \times ML^2 - W_z \quad \dots\dots (2)$$

【0070】上記(2)式において、FLは、後述ようにして算出される投影光学系PL自身のフォーカス変化である。

【0071】次に、上記フォーカス変化を含む投影光学系PL自身の結像特性(諸収差)の変化量の算出方法について詳述する。

【0072】〈大気圧変化による結像特性変化〉まず、大気圧変化による結像特性の変化量の算出方法について説明する。

① 大気圧変化によるフォーカス変化F<sub>PRESS</sub>は、次式(3)に基づいて算出する。

【0073】

※実験的に気圧を変化させて実測しても良い。

【0075】上記フォーカスと同様の手法により、他の結像特性変化も計算することができる。すなわち、大気圧変化による投影光学系PL自身の結像特性変化は、次式(4)に基づいて算出することができる。

【0076】

【数1】

M<sub>PRESS</sub> : 大気圧変化による倍率変化

D<sub>PRESS</sub> : 大気圧変化によるディストーション変化

50 CO<sub>PRESS</sub> : 大気圧変化によるコマ収差変化

S<sub>A PRESS</sub> : 大気圧変化による球面収差変化

である。上式(4)中の各気圧変化による変化率は、光学計算により求めても良く、あるいは実験的に気圧を変化させて実測しても良い。

【0078】本実施形態では、先に説明したように、投影光学系PLの内部、外部に気圧センサ36a、36bをそれぞれ設け、これに対応して内部と外部で別係数によって結像特性変化を算出しているが、投影光学系PLの内外で気圧が連動すると考えて精度上問題無いような場合にはどちらか一方の計算だけで足りる。

【0079】〈照明光吸収による結像特性変化〉次に照明光吸収による結像特性変化について説明する。まず、前提となる照射量Qの測定方法について説明する。

【0080】露光に使用するレチクルRをレチクルステージRSTに搭載した状態で、レチクルブラインド7や照明条件(開口数N.A. やコヒーレンスファクタσ値)を露光する際の状態に設定する。この照明条件の設定は、例えば、主制御装置21により、投影光学系PLの瞳面の位置に設けられた不図示の開口絞りが調整され開口数N.A. が設定され、第2フライアイレンズ4の射出端の近傍に設けられた不図示の照明系開口絞り板上の開口絞りが光路上に選択的に設定されることにより行\*

$$Q_1 = Q_0 \times I_1 / I_0$$

この式(5)によると、インテグレートセンサ6出力比を計算に使用しているので、光源1のパワーが変動した場合にも照射量が誤差無く算出できる。また、レチクルRの走査位置に応じた関数となっているので、例えばレチクルパターンが面内で片寄っていた場合にも正確に照射量を算出できる。

【0084】なお、上の説明では、準備作業として実際の露光時の照明条件下で照射量センサ20の出力を取り込むものとしたが、例えば照射量センサ20の特性により信号が飽和してしまうような場合には、不図示のNDフィルタを照明光路上に選択的に入れるなどして照明光量を意識的に減光した照明条件下で、上記の準備作業を実行しても良い。この場合には、NDフィルタの減光率を考慮して実際の露光時における上記照射量Q<sub>1</sub>の計算を行えば良い。

【0085】次に、同じく前提となるウエハ反射率R<sub>w</sub>の測定方法について説明する。まず、ウエハステージWST上に既知の反射率R<sub>0</sub>、反射率R<sub>1</sub>をそれぞれ有する2枚の反射板(不図示)を設置する。次に、上述した照射光量測定と同様に、主制御装置21では、実際の露光時と同一に露光条件(レチクルR、レチクルブラインド7、照明条件)を設定し、ウエハステージWSTを駆動して設置されたの反射率R<sub>0</sub>の反射板を投影光学系PL直下に移動する。次に、主制御装置21では光源1を発振してレチクルステージRSTとウエハステージWS

\*われる。

【0081】次に、主制御装置21では、照射量センサ20が投影光学系PLの真下に来るようにウエハステージWSTを駆動する。次に、主制御装置21では光源1を発振してレチクルステージRSTとウエハステージWSTを実際の露光と同じ条件で同期移動しながら照射量センサ20の出力及びインテグレートセンサ6の出力I<sub>0</sub>を所定のサンプリング間隔で同時に取り込むことにより、同期移動位置(走査位置)に応じた照射量Q<sub>0</sub>の値、及びこれに対応するインテグレートセンサ6の出力I<sub>0</sub>をメモリ内に記憶する。すなわち、照射量Q<sub>0</sub>、及びインテグレートセンサ出力I<sub>0</sub>が、レチクルRの走査位置に応じた関数として、メモリ内に記憶される。

【0082】このような準備作業を、主制御装置21では露光に先立って実行しておく。そして、実際の露光時にはレチクルRの走査位置に応じて記憶しておいた照射量Q<sub>0</sub>とインテグレートセンサ6の出力I<sub>0</sub>、及び露光時のインテグレートセンサ6の出力I<sub>1</sub>に基づいて、その時の照射量Q<sub>1</sub>を次式(5)に基づいて算出し、照明光吸収の計算に使用する

【0083】

……(5)

Tを実際の露光と同じ条件で同期移動しながら反射率センサ10の出力V<sub>0</sub>、及びインテグレートセンサ6の出力I<sub>0</sub>を所定のサンプリング間隔で同時に取り込むことにより、同期移動位置(走査位置)に応じた反射率センサ10の出力V<sub>0</sub>、及びこれに対応するインテグレートセンサ6の出力I<sub>0</sub>をメモリ内に記憶する。これにより、反射率センサ10の出力V<sub>0</sub>、及びインテグレートセンサ出力I<sub>0</sub>が、レチクルRの走査位置に応じた関数として、メモリ内に記憶される。次に、主制御装置21では、ウエハステージWSTを駆動して設置されたの反射率R<sub>1</sub>の反射板を投影光学系PL直下に移動して、上記と同様にして、反射率センサ10の出力V<sub>1</sub>、及びインテグレートセンサ6の出力I<sub>1</sub>を、レチクルRの走査位置に応じた関数としてメモリ内に記憶する。

【0086】このような準備作業を、主制御装置21では露光に先立って実行しておく。そして、実際の露光時にはレチクルRの走査位置に応じて記憶しておいた反射率センサの出力とインテグレートセンサの出力、及び露光時の反射率センサ10の出力V<sub>1</sub>とインテグレートセンサ6の出力I<sub>1</sub>に基づいて、ウエハ反射率R<sub>w</sub>を、次式(6)に基づいて算出し、照明光吸収の計算に使用する

【0087】

【数2】

$$R_w = \frac{R_H - R_L}{\bar{V}_H - \bar{V}_L} \times V_1 + \frac{\bar{V}_H \times R_L - \bar{V}_L \times R_H}{\bar{V}_H - \bar{V}_L} \quad \dots\dots (6)$$

ただし、

$$\bar{V}_H = V_{H0} \times \frac{I_1}{I_{H0}}$$

$$\bar{V}_L = V_{L0} \times \frac{I_1}{I_{L0}}$$

【0088】この式(6)によると、インテグレートセンサ6の出力比を計算に使用しているため、光源1のパワーが変動した場合にもウエハ反射率を正確に算出できる。

【0089】次に、照明光吸収によるフォーカスの変化量の算出方法について説明する。以上のようにして求め\*

＊られた照射量 $Q_1$ 、ウエハ反射率 $R_w$ から次式(7)で表されるモデル関数を使用して投影光学系PLの照明光吸収によるフォーカス変化 $F_{HEAT}$ を算出する。

【0090】

【数3】

$$F_{HEAT} = \sum_{k=1}^3 \left[ F_{HEATk} \times \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_{FK}}\right) + C_{FHK} \times (1 + \alpha_F \times R_w) \times Q_1 \times \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_{FK}}\right) \right\} \right] \quad \dots\dots (7)$$

【0091】ここで、

$F_{HEAT}$  : 照明光吸収によるフォーカス変化

$\Delta t$  : 照明光吸収によるフォーカス変化計算間隔

$T_{FK}$  : 照明光吸収によるフォーカス変化時定数

$F_{HEATk}$  : 照明光吸収による時刻 $\Delta t$ 前のフォーカス変化の時定数 $T_{FK}$ 成分

$C_{FHK}$  : 照明光吸収に対するフォーカス変化率の時定数 $T_{FK}$ 成分

$\alpha_F$  : ウエハ反射率依存性である。

【0092】上記式(7)のモデル関数は、照射量を入力、フォーカス変化を出力と見た時に、1次遅れ系3個の和の形になっている。なお、モデル関数に関しては投影光学系PLの照明光吸収量と必要とされる精度から変更しても良い。例えば、照明光吸収量が比較的小さければ、1次遅れ系2個の和でも良いし、1次遅れ系1個でも良い。また、投影光学系PLが照明光を吸収してから結像特性変化として現れるまでに熱伝導により時間が掛かるようならば、ムダ時間系のモデル関数を採用しても良い。また、ウエハ反射率依存性は通常1であるが、投影光学系PLの種類によって、例えばウエハWに近い側に吸収率の大きいガラスを材料として使用した場合などに反射率に大きく依存することがある。この時は $\alpha_F$ に1より大きい値が設定されることになる。その逆にウエハWに近い側に吸収率が小さいガラスを採用した時には $\alpha_F$ に1より小さい値が設定される。なお、照明光吸収によるフォーカス変化時定数、照明光吸収に対するフォーカス変化率、ウエハ反射率依存性はいずれも実験によ

り求める。あるいは、高精度な熱解析シミュレーションにより計算で求めても良い。

【0093】上記フォーカスと同様の手法により、他の結像特性、すなわち像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差についても、照明光吸収による変化を計算することができる。すなわち、

$C_{U_{HEAT}}$  : 照明光吸収による像面湾曲変化

30  $M_{HEAT}$  : 照明光吸収による倍率変化

$D_{HEAT}$  : 照明光吸収によるディストーション変化

$C_{O_{HEAT}}$  : 照明光吸収によるコマ収差変化

$S_{A_{HEAT}}$  : 照明光吸収による球面収差変化

を、上記(7)式と同様のモデル関数に基づいて算出すれば良い。

【0094】なお、上述したフォーカスでは1次遅れ系3個の和のモデル関数が必要であったが、例えば像面湾曲の計算には1次遅れ系1個で十分なことも考えられるので、要求される精度に応じて各結像特性毎に照明光吸収のモデル関数を変更しても良い。1次遅れ系が2個又は1個のモデル関数を用いる場合には、計算時間の短縮の効果がある。

【0095】次に、投影光学系PLの回転対称な6種類の結像特性、具体的にはフォーカス、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差の補正方法について説明する。

【0096】まず、初期調整の段階で、結像特性補正機構14を構成する5個のレンズ群22～26を1個ずつ駆動しながら、フォーカス、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差の6種類の結像特性につ

いて測定を行い、各レンズ群22～26における上記6種類  
の結像特性変化係数（次式（8）の右辺のマトリクス  
の各要素 $C_{11} \sim C_{65}$ ）を求めておく。 \*

$$\begin{bmatrix} F \\ CU \\ M \\ D \\ CO \\ SA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (8)$$

【0098】ここで、 $G_1 \sim G_5$ は5個のレンズ群22～26の移動量を表す。なお、これらの結像特性変化係数 $C_{11} \sim C_{65}$ は、高精度な光学シミュレーションにより計算で求めても良い。

【0099】上記（8）式の左辺は、これまでに説明し※

$$\begin{bmatrix} F \\ CU \\ M \\ D \\ CO \\ SA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{PRESS} \\ CU_{PRESS} \\ M_{PRESS} \\ D_{PRESS} \\ CO_{PRESS} \\ SA_{PRESS} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_{HEAT} \\ CU_{HEAT} \\ M_{HEAT} \\ D_{HEAT} \\ CO_{HEAT} \\ SA_{HEAT} \end{bmatrix} \quad \dots\dots (9)$$

【0101】そして、上記の結像特性変化係数の内、フォーカスを除く5種類の結像特性変化係数と5個のレンズ群の移動量（駆動量）とを用いて次式（10）で示され★

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} CU \\ M \\ D \\ CO \\ SA \end{bmatrix} \quad \dots\dots (10)$$

【0103】そして、上式（10）を用いることにより、例えば、所定の倍率に変化させたい場合は、上記式（10）中の倍率の結像特性変化係数に所定量を入れ、他の4種類の結像特性変化係数に「0」を入れた新たな連立方程式を立て、この連立方程式を解いて各レンズ群の駆動量を求め、この駆動量に応じて各レンズ群22～26を駆動することにより、像面湾曲、ディストーション、コマ収差、球面収差に影響を与えることなく、倍率のみを所定の値に制御することが可能となる。ここでは、倍率を変化させる場合について説明したが、像面湾曲、ディストーション、コマ収差、及び球面収差についても上記と同様であって、他に影響を与えずに個別に値を変化

※たフォーカス、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差の変化であり、次式（9）で表されるものである。

【0100】

【数5】

★る5元1次連立方程式を立てる。

【0102】

【数6】

させることができる。

【0104】上記式（10）でフォーカスを除くのは、倍率等の他の結像特性を補正するためにレンズ群を駆動すると、それに付随してフォーカスが変動するので、フォーカスの補正にはこの影響も考慮する必要があるからである。

【0105】上記5種類の結像特性を補正するために、5個のレンズ群を移動したことにより副作用的に発生するフォーカス変化をFGとすると、FGは、次式（11）のように表せる。

【0106】

【数7】

$$FG = [C_{11} \ C_{12} \ C_{13} \ C_{14} \ C_{15}] \cdot \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \end{bmatrix} \dots\dots (11)$$

【0107】結局、投影光学系PL自身のフォーカス変化は、大気圧変化、照明光吸収変化、レンズ群移動変化を合せて

$$FL = F + FG \quad \dots\dots (12)$$

となる。このFLを、前述した式(2)のZステージ17によるフォーカス補正の式に代入し、 $\Delta F$ が0となるようにZステージ17をZ軸方向に移動することで、レチクルRとウエハWの共役関係(光学的距離)が保たれる。

【0108】次に、本実施形態の走査型露光装置100の特徴点である照射時異方性結像特性変化の補正方法について説明する。

【0109】まず、照明光吸収によって前述した従来例と同様に異方性の結像特性が初期調整されていない投影光学系(以下、便宜上「投影光学系PL'」と呼ぶ)の異方性結像特性が変化する量を求める。異方性結像特性も前述したフォーカス等の照明光吸収と同じような挙動をするので、予め実験や高精度な光学シミュレーションにより求めることができる。この時、本実施形態の走査型露光装置100のウエハステージWSTの最大速度、光源1の最大照度、及びウエハWに塗布されるレジスト感度などに基づいて想定できる最も大きいエネルギーを投影光学系PL'与える、あるいは想定して異方性結像特性変化を求める。

【0110】上述の実験又は光学シミュレーションにより、例えば投影光学系PL'の異方性ディストーションとして、図3に示されるように、照明領域IRAのウエハW上への投影像、すなわち露光領域IAが、照明光の吸収後にIA'のように変化する状態が求められたものとする。この図3において、露光領域IAの中心を点Oとしてこの点Oを通る非走査方向(X方向)のA-A線を軸A、点Oを通る走査方向のB-B線を軸Bとし、更に非走査方向の端で走査方向に沿ったC-C線を軸Cとする。

【0111】この時の異方性ディストーションを各軸上のポイントでプロットしたものが図4である。この図4において、横軸は像高、すなわち光軸中心(ここでは、点Oがこれに一致しているものとする)からの距離、縦軸はディストーションであり、軸A~Cの傾きが像高に対する倍率変化に相当する。この図4から明らかなように、非走査方向のA軸の像高に対する倍率変化に対し、走査方向のB、C軸では像高に対する倍率変化が大きくなることわかる。

【0112】これを前述したレンズ群22~26の組合

せ駆動で補正すると、図5に示されるように、照明領域IRAのウエハW上への投影像、すなわち露光領域IAが、照明光の吸収後にIA'のように変化するようなディストーションとなる。ここで、図3と同様に軸A~Cを設定すると、図6に示されるように、非走査方向の軸Aでは倍率が補正されているが、走査方向の軸B、Cでは倍率補正誤差が残留してしまうことがわかる。

【0113】そこで、本実施形態の投影光学系PLでは、上記の投影光学系PL'に関するデータを基に、照明光吸収による異方性ディストーションを振り分けるように、すなわち、投影光学系PLの初期調整において、照明光吸収前に照明領域IRAのウエハW上への投影像、すなわち露光領域IAが図7(A)中に実線で示されるような露光領域IA<sub>1</sub>となるようなディストーションを意識的に与えておく(ディストーションを理想格子からずらしておく)のである。例えば、投影光学系PLを構成する任意の1枚又は複数枚のレンズエレメントに所定の加工を施し、それらを組み合わせて且つ調整して、図7(A)に示されるようなディストーションが生じるような初期調整を行っておくのである。

【0114】このようにして初期調整が施された投影光学系PLが照明光を吸収した状態で、且つ回転対象成分が補正された後では、照明領域IRAのウエハW上への投影像、すなわち露光領域IAが図7(B)に示されるような露光領域IA<sub>2</sub>となるようなディストーションに変化する。

【0115】図7(A)、(B)に対応する異方性ディストーションを、図4と同様に、各軸上のポイントでプロットすると、図8(A)、(B)のようになる。これらの図において、横軸は像高、すなわち光軸中心(ここでは、点Oがこれに一致しているものとする)からの距離、縦軸はディストーションであり、軸A~Cの傾きが像高に対する倍率変化に相当する。前述した図6中のB軸上の倍率変化をbとした場合に、図8(A)の初期調整における軸Bの倍率のずらし量を $-b/2$ としておくことで、図8(B)の照明光吸収後における軸B上の倍率変化は $b/2$ となる。

【0116】このように本実施形態の走査型露光装置100を構成する投影光学系PLでは、初期調整において異方性ディストーションが振り分けに調整されているので、照明光吸収による異方性ディストーションの発生量の最悪値を比較例(従来の投影レンズ)の半分に抑えることが可能になる。

【0117】次に、異方性フォーカスの補正について説

10

20

30

40

50

明する。ここでは説明の簡略化のために投影光学系中心のフォーカスの異方性、すなわちセンタースを採り上げて説明する。

【0118】先に従来技術の所で説明したように、図15に示されるような、レチクルR上の照明領域IARの中心（即ち投影光学系の光軸中心近傍）に配置された、HパターンとVパターンから成る複合パターンを比較例の投影光学系PL'を介してウエハW上に投影露光すると、照明領域が非走査方向に細長い形状であることに起因して生ずる投影光学系PL'の異方性の温度分布に起因して、図18に示されるように、Vパターンベストフォーカス面とHパターンベストフォーカス面とは、F<sub>ce</sub>だけのずれが生じる。すなわち、センタースが生じる。

【0119】そこで、本実施形態の投影光学系PLでは、上記の投影光学系PL'に関するデータを基に、上記のセンタースの発生量F<sub>ce</sub>を、初期調整において振り分けにしておくことで、上述した異方性ディストーションと同様にセンタースの最大値（最悪値）を半分に抑制するのである。すなわち、図9に示されるように、Vパターンベストフォーカス面の方が、Hパターンベストフォーカス面よりF<sub>ce</sub>/2だけ投影光学系PLに近い側になるような、初期調整を行っているのである。

【0120】なお、ここではセンタースのみについて説明したが、異方性フォーカスは投影光学系PLの中心のみではなく照明領域全面に渡って発生しているので、照明領域全面を考慮した上でパターン方向別のベストフォーカス面を初期調整において振り分けにしておいても良い。

【0121】以上説明したように、本実施形態によると、投影光学系PLの照明光吸収に起因する異方性結像特性変化を実質的に半分にすることができるので、異方性結像特性変化に起因する露光精度の劣化を十分に抑制することができ、従来に比べてより微細なパターンを高精度で露光することが可能になる。

【0122】上述した第1の実施形態では、投影光学系PLの照明光吸収による異方性結像特性を予想して振り分けとなるように、投影光学系PLの初期調整を行なうことにより、異方性結像特性変化に起因する露光精度の劣化を抑制する場合について説明したが、実際に装置を使用する上で予想を上回るエネルギーが投影光学系に照明されないと限らない。例えば、光源のパワーが初期調整よりもアップしたり、ウエハの反射率が限りなく100%に近付いたりした場合が考えられる。かかる場合を考慮してなされたのが、次の第2の実施形態である。

【0123】《第2の実施形態》次に、本発明の第2の実施形態を、図10に基づいて説明する。ここで、本第2の実施形態の装置構成等は、前述した第1の実施形態と同様であり、主制御装置21の機能が異なるのみであるから、以下においては、この点を中心に説明する。ま

た、上記第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるものとする。また、ここでは、主制御装置21が、第1プロセッサ及び第2プロセッサを中心に構成されているものとする。

【0124】以下、所定枚数のウエハWに対するレチクルパターンの転写の際の第1プロセッサの制御動作について図10に基づいて説明する。この図10のフローチャートがスタートするのは、レチクルステージRST上へのレチクルロード、レチクルアライメント及びベースライン計測等の所定の準備作業が終了した時点である。前提条件として、後述するウエハ番号を示す不図示の第1カウンタの初期値及び後述するショット番号を示す不図示の第2カウンタの初期値は、ともに「0」となっているものとする。また、露光処理の開始前の投影光学系PLの結像特性（回転対称の結像特性及び異方性の結像特性が、予め測定され、それぞれの値が初期値として不図示のメモリ内に記憶されているものとする。また、フォーカスオフセットとしては、所定の基準値が設定されているものとする。

【0125】まず、ステップ102において、ウエハ交換を行う。このウエハ交換は、第1プロセッサからの指示に応じて、不図示のウエハ搬送系及びウエハステージWST上の不図示のウエハ受け渡し機構によって行われる。但し、1枚目のウエハWの露光の際には、ウエハホルダへのウエハWのロードのみが行われる。

【0126】次のステップ104において、第1カウンタを1インクリメント（ $m \leftarrow m+1$ ）する。従って、1枚目のウエハWの露光の際には、 $m$ に「1」が設定される。

【0127】次のステップ106で、ウエハアライメントを行う。具体的には、ウエハステージWSTをウエハ駆動装置42を介してXY2次元方向に移動しつつ、不図示のアライメント系を用いてウエハW上の複数箇所に形成されたサーチアライメントマークの位置検出を行い、その検出結果からウエハWの回転及び中心位置を検出した後、同様にウエハステージWSTをウエハ駆動装置42を介してXY2次元方向に移動しつつ、不図示のアライメント系を用いてウエハW上の複数のウエハマークの位置検出を行い、この検出結果を用いて、例えば特開昭61-44429号公報に開示される最小自乗法を用いた統計演算によりウエハW上のショット領域の配列座標を算出する。

【0128】次のステップ108で、投影光学系PLの異方性結像特性の変化が所定のしきい値、すなわち許容範囲内であるか否かを判断する。第1枚目のウエハWの露光開始前には、未だ投影光学系PLの結像特性の計測が開始されておらず、メモリ内には各結像特性の初期値が記憶されているので、このステップ108における判断は当然に肯定され、ステップ114に移行する。このステップ114では、投影光学系PLの回転対称の結像

特性の補正を実行する。しかし、第1枚目のウエハWの露光開始前は、メモリ内には各結像特性の初期値が記憶されているので、実際には何らの補正は行われることなく、次のステップ116に進み、ショット番号を示す不図示の第2カウンタに「1」を設定し( $n \leftarrow 1$ )た後、ステップ118に進んで上記ステップ106で得られた第n番目(ここでは、1番目)のショット領域の位置座標を基にそのn番目のショット領域の露光のための走査開始位置にウエハステージWSTを移動する。

【0129】次のステップ120では、第1カウンタのカウンタ値m、第2カウンタのカウンタ値nがともに「1」であるか否かを判断する。第1枚目のウエハWの第1ショットに対する露光が行われるときには、この判断が肯定され、ステップ122に進んで第2プロセッサに対して計測開始の指示を与える。これにより、第2プロセッサにより、投影光学系PLの結像特性(回転対称の結像特性及び異方性結像特性)の変化の計測が開始され、所定時間 $\Delta t$ の間隔で各結像特性が算出され、メモリ内の各結像特性の値が時間 $\Delta t$ で順次更新される。この第2プロセッサによる結像特性の算出は、第1プロセッサから後述する計測終了の指示が与えられるまで繰り返し行われる。

【0130】ここで、第2プロセッサは、後述するステップ124の走査露光中は、インテグレータセンサ6の出力を取り込み、先に説明したようにして照射量Q<sub>0</sub>を演算で求め、この照射量Q<sub>0</sub>を照明光吸収による投影光学系PLの結像特性の変化量の算出に用いる。また、結像特性の内、回転対称結像特性の変化量の算出方法は、前述した第1の実施形態中で説明した通りである。また、異方性結像特性の変化量の算出(計算)は一例として次のように行われる。

【0131】ここでは、異方性結像特性の変化量の計算方法について、前述した第1の実施形態と同様に異方性ディストーション(長方形ディストーション)と異方性フォーカス(センタース)を採り上げて説明する。これらの異方性結像特性の変化は、基本的には、前述した回転対称の結像特性(フォーカス、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差)の照明光吸収による変化の計算式と全く同じ式を用いて求めることができる。但し、その計算のやり方に工夫を要する。すなわち、例えば、長方形ディストーションを求めるために、走査方向と非走査方向の倍率変化を各々別々に計算する。また、センタースを求めるために、Vパターンベストフォーカス面とHパターンベストフォーカス面とを別々に計算する。そして、上記で計算した走査方向と非走査方向の倍率変化の差を長方形ディストーションの変化量とし、Vパターンベストフォーカス面とHパターンベストフォーカス面との差をセンタースの変化量とする。

【0132】次のステップ124では、そのn番目(こ

こでは1番目)のショット領域にレチクルRのパターンを転写するため、先に説明した走査露光を行う。この走査露光中に、ウエハAF系19、レチクルAF系12の検出信号に基づいて、レチクルRのパターン面とウエハ表面とが投影光学系PLに関して共役となるようにウエハ駆動装置42を介してZステージ17をZ軸方向に駆動制御し、フォーカス補正を実行する。

【0133】上記ステップ124における走査露光の終了後、ステップ126に進んで、前述した第2カウンタを1インクリメント( $n \leftarrow n+1$ )した後、ステップ128に進んで、第2カウンタのカウンタ値nがウエハW上の全ショット数Nより大きいかなかを判断する。第1番目のショットの走査露光が終了した時点では、当然にこの判断は否定されステップ118に戻り、上記ステップ118～ステップ128の処理判断を繰り返す。ウエハW上の第2番目のショット以降の露光に際しては、ステップ120の判断は常に否定され、ステップ118→120→124→126→128のループが繰り返される。

【0134】このようにして、ウエハW上の露光対象の全ショット(ここでは、Nショットとする)の露光が終了すると、ステップ128の判断が肯定され、ステップ130に進み、予定の所定枚数(ここではM枚とする)のウエハWの露光が終了したか否かを、第1カウンタのカウンタ値mがM以上であるか否かを判断することにより、判断する。第1枚目のウエハWの露光が終了した時点では、当然にこの判断は否定されるので、ステップ102に戻り、上記処理・判断を繰り返す。

【0135】2枚目以降のウエハWの露光に際しては、第2プロセッサによる投影光学系PLの結像特性の計測が開始されているので、ステップ108においてそのメモリ内に記憶されている異方性結像特性の変化量、例えば長方形ディストーションの変化量(走査方向と非走査方向の倍率変化の差を量)、及びセンタースの変化量(Vパターンベストフォーカス面とHパターンベストフォーカス面との差)が所定の許容値内であるか否かを判断する。この異方性結像特性の変化の許容値としては、例えば露光するパターンルール(デバイスルール)等から結像特性変化の最大変化許容量を予め求め、その値が許容値として設定されている。

【0136】そして、2枚目以降のウエハWの露光に際して、ステップ108における判断が肯定された場合には、ステップ114に進んで、次のようにして結像特性を補正する。すなわち、その時点でメモリ内に記憶されている各結像特性の変化量の計算値に基づき、前述した回転対象結像特性補正の式(10)を用いて各レンズ群22～26の駆動量を算出し、この値をレンズコントローラ15に与えることによって、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差を補正するが、この際長方形ディストーションについては非走査方向の倍率



変化を上記式(10)に代入する。また、フォーカスについては、前述した式(12)のFLを補正值(オフセット値)としてウエハAF系に与えることにより行われるが、このFLの計算の前提となるFについては、Vパターンベストフォーカス面とHパターンベストフォーカス面との平均値(平均像面)を採用する。これにより、上記補正值をオフセットとしてそのショットの走査露光中に第1プロセッサにより前述した式(2)に基づいてZステージ17のZ位置が制御され、結果的にフォーカスが補正される。

【0137】この一方、何枚かのウエハWの露光により、投影光学系PLが照明光ELを所定量以上吸収してステップ108の判断が否定された場合、すなわち、異方性結像特性の変化が許容範囲外になっているときには、ステップ110に移行してメモリ内の値に基づいて異方性結像特性の変化量が許容値から所定量減衰したか否かの判断を繰り返すことにより、投影光学系PLが露光を再開できるレベルまで自然冷却されるのを待つ。従って、投影光学系PLが露光を再開できるレベルまで自然冷却されるまでの間は、露光が中断されることとなる。この露光中断中も、第2プロセッサでは前述した投影光学系PLの結像特性(回転対称、異方性とも)を時間 $\Delta t$ の間隔で繰り返し行い、メモリ内の値を順次更新している。

【0138】ここで、上記の所定量の減衰とは、具体的には例えば90%とか80%まで減衰することと定めても良く、あるいはウエハ1枚露光中に悪化する結像特性の変化量を予め計算してその変化量だけ減衰することと定めても良い。後者のウエハ1枚露光中に悪化する結像特性の変化量は照射量センサの出力、ウエハ1枚のショット数、以前のウエハWの反射率、照明光吸収による結像特性計算式などから計算で求めることが可能である。

【0139】このようにして、露光中断中に投影光学系PLが露光を再開できるレベルまで自然冷却されると、ステップ110の判断が肯定され、ステップ114以降の処理・判断が再開される。

【0140】そして、予定の所定枚数(M枚)のウエハWに対する露光が終了し、ステップ130の判断が肯定されると、ステップ132に進んで第2プロセッサに対して計測終了を指示した後、本ルーチンの一連の処理を終了する。第2プロセッサでは、上記の計測終了の指示を受け、結像特性の計測動作を停止する。

【0141】以上説明したように、本第2の実施形態によると、主制御装置21では露光処理中に異方性結像特性変化を監視し、その変化量が所定のしきい値(許容値)を超えた場合に、露光動作を中断し、その露光中断中も上記の異方性結像特性変化を監視し続けその変化量が所定値まで減衰したことを確認した時点で直ちに露光を再開するようになっている。このため、異方性結像特性の変化に起因して露光不良が発生するのを確実に防止

することができるとともに、露光を再開できるレベルにまで投影光学系PLが自然冷却されると直ちに露光を再開するのでスループットの悪化を最小限に食い止めることができるという効果がある。

【0142】これまでの説明から明らかなように、上記第1、第2の実施形態では、レチクルAF12、ウエハAF19、Zステージ17、主制御装置21及びウエハ駆動装置42によってフォーカス補正装置が構成され、また、主制御装置21によって結像特性監視装置が実現される。

【0143】なお、上記第2の実施形態では、主制御装置21が第1プロセッサと第2プロセッサとを含んで構成される場合について説明したが、主制御装置を構成するマイクロコンピュータ又はワークステーションによるマルチタスク処理、あるいは時分割処理にて、上記第1プロセッサと第2プロセッサの機能を、その管理下にあるステージコントローラ、露光コントローラ、レンズコントローラ等を用いて実現するようにしても良いことは勿論である。

【0144】また、上記第2の実施形態では、前述した第1の実施形態と同様の装置構成を用い、従って投影光学系PLも初期調整において走査方向と非走査方向とで結像特性が異なるように設定された投影光学系を用いる場合について説明したが、これは、かかる投影光学系を用いると、前述した異方性結像特性の変化の許容値に至るまでの時間を長くすることができる、すなわち同一量の照明光を吸収した場合の異方性結像特性の変化が小さくなる点を考慮してこのようにしたものである。しかしながら、本発明がこれに限定されることはない。すなわち、異方性結像特性が全く調整されていない投影光学系、あるいは初期調整でなく、事後的に異方性結像特性が調整された投影光学系等、如何なる投影光学系を用いる場合であっても、本発明に係る結像特性監視装置を備えた走査型露光装置は、上記第2の実施形態と同等の効果を奏する。

【0145】なお、上記ステップ110に代えて、投影光学系PLが露光を再開できるレベルまで自然冷却されたか否かを判断するためのステップとして、一定時間経過するのを待つステップを設けても良い。

【0146】また、上記ステップ108、110の判断ステップを、上記ステップ102の前に移動しても良い。かかる場合には、ウエハ交換時間と結像特性変化の減衰時間とをオーバーラップさせることができるので、スループットの悪化をより小さくすることが可能である。

【0147】さらに、上記実施形態では、ウエハ1枚の露光が終了する度毎に、露光を中断するか否かの判断をする場合について説明したが、本発明がこれに限定されないことは勿論であり、ウエハ数枚毎、1又は複数ロット毎、あるいは数ショットの露光の度毎等、任意の時間

間隔で露光を中断するか否かの判断をしても良い。

【0148】なお、本発明に係る走査型露光装置は、上記第1の実施形態で説明したように、投影光学系の異方性結像特性の劣化を抑制することにより、露光精度を向上させ、あるいは上記第2の実施形態で説明したように、投影光学系の照明光の吸収に起因する異方性結像特性の劣化による露光不良の発生を確実に防止することができるように、該装置を構成する各構成要素が電氣的、機械的又は光学的に連結されて組み上げられる。

【0149】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1～7に記載の各発明によれば、照明光の吸収に起因する異方性結像特性の劣化を抑制することができる投影レンズを提供することができる。

【0150】また、請求項8、9、15に記載の各発明によれば、投影光学系の照明光吸収により異方性結像特性の変化を抑制して露光精度を向上させることが可能な走査型露光装置を提供することができる。

【0151】さらに、請求項10～15に記載の各発明によれば、投影光学系の照明光の吸収に起因する異方性結像特性の劣化による露光不良の発生を確実に防止することができるという従来にない優れた走査型露光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】一実施形態に係る走査型露光装置の概略構成を説明する図である。

【図2】図1の結像特性補正機構の構成を説明する部分断面図である。

【図3】投影光学系PL'の異方性ディストーションの一例を示す図である。

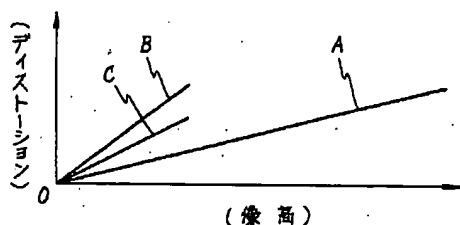
【図4】図3の異方性ディストーションを各軸上のポイントでプロットした図である。

【図5】図3の異方性ディストーションを結像特性補正機構により補正した後の状態を示す図である。

【図6】図5の異方性ディストーションを各軸上のポイントでプロットした図である。

【図7】投影光学系PLの結像特性の初期調整を説明するために、照明光吸収前・後の異方性ディストーションを示す図である（(A)、(B)）。

【図4】



\*【図8】図7(A)、(B)に対応する異方性ディストーションを、各軸上のポイントでプロットした図である。

【図9】投影光学系PLの異方性フォーカスの初期調整を説明するための図である。

【図10】第2の実施形態の走査型露光装置における所定枚数のウエハに対するレチクルパターンの転写の際の主制御装置内第1プロセッサの制御アルゴリズムを示すフローチャートである。

10 【図11】走査型露光装置に用いられる投影光学系PL'を光軸方向から見た図である。

【図12】図11の投影光学系PL'の温度分布を示す図である。

【図13】図12のA-A線断面図である。

【図14】図12のB-B線断面図である。

【図15】レチクルR上の照明領域LARの中心に配置された、HパターンとVパターンとから成る複合パターンを示す図である。

【図16】Vパターンの投影の様子を示す図である。

20 【図17】Hパターンの投影の様子を示す図である。

【図18】投影光学系PL'でセンターアスが発生した状態を示す図である。

【符号の説明】

12 (12a, 12b) レチクルAF (フォーカス補正装置の一部)

14 結像特性補正機構 (結像特性補正装置の一部)

15 レンズコントローラ (結像特性補正装置の一部)

17 Zステージ (フォーカス補正装置の一部)

19 (19a, 19b) ウエハAF (フォーカス補正装置の一部)

30 21 主制御装置 (フォーカス補正装置の一部、結像特性監視装置)

42 ウエハ駆動装置 (フォーカス補正装置の一部)

100 走査型露光装置

R レチクル (第1物体、マスク)

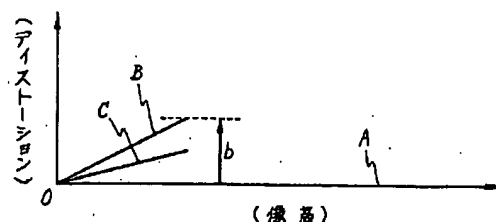
W ウエハ (第2物体、基板)

PL 投影光学系 (投影レンズ)

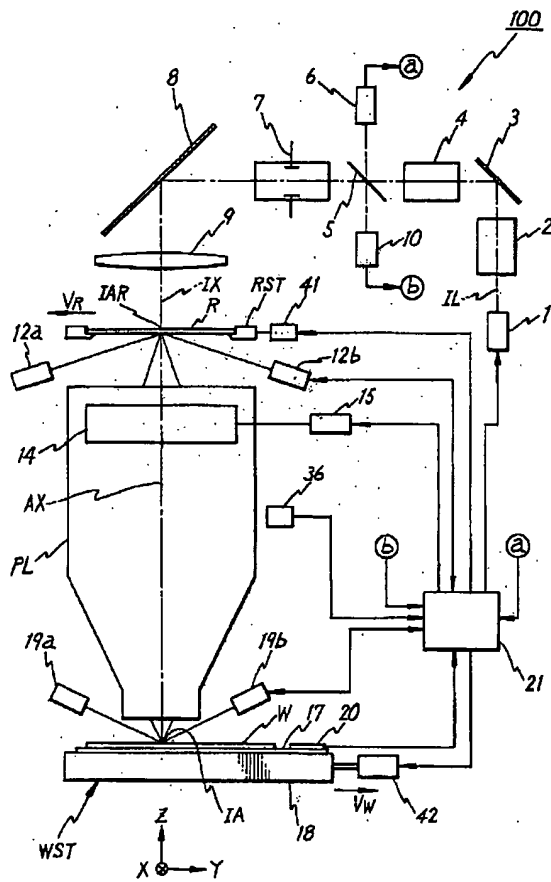
AX 光軸

IL 照明光

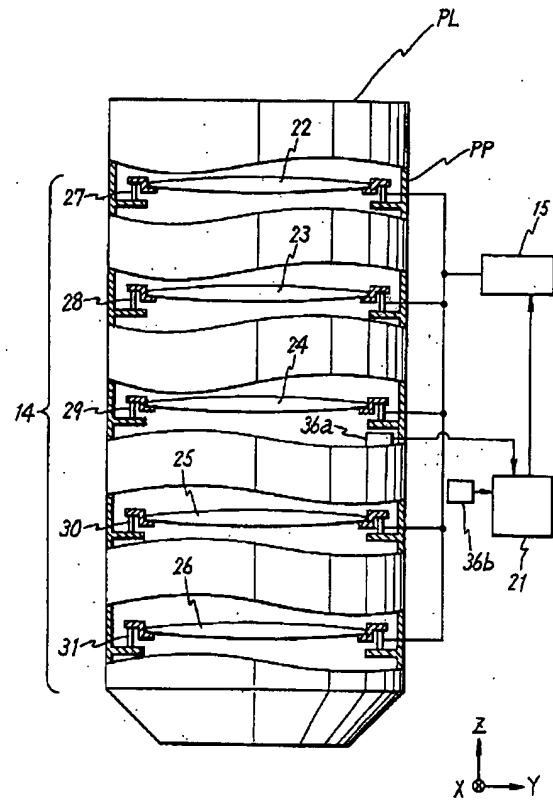
【図6】



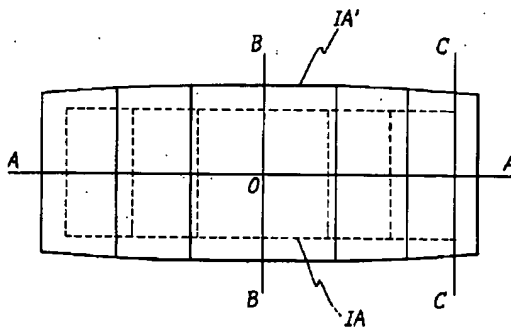
【図1】



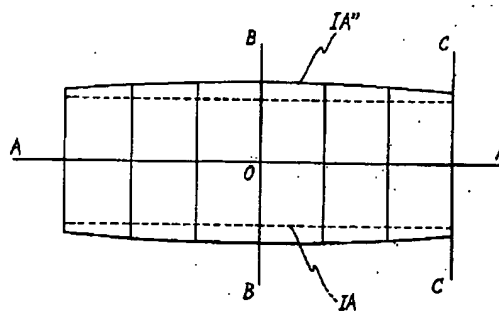
【図2】



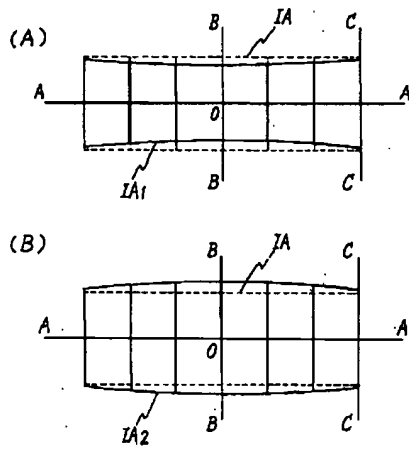
【図3】



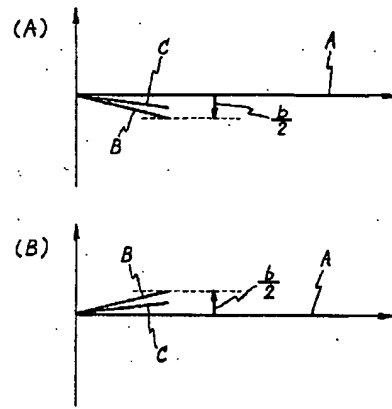
【図5】



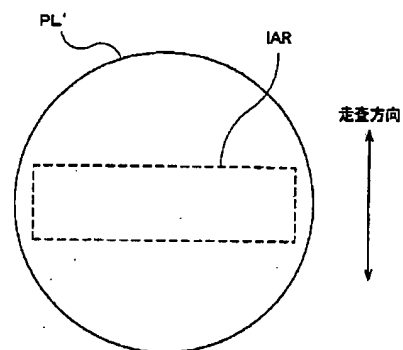
【図7】



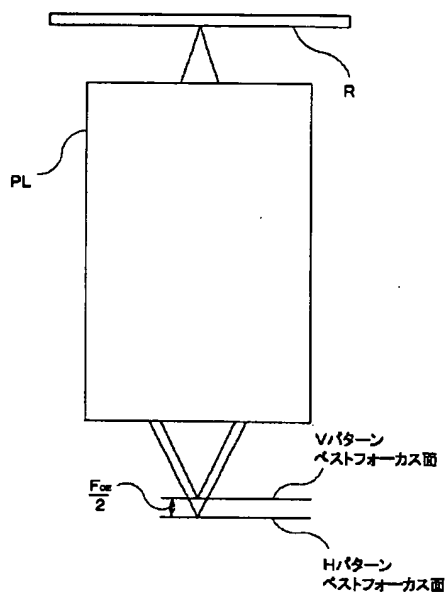
【図8】



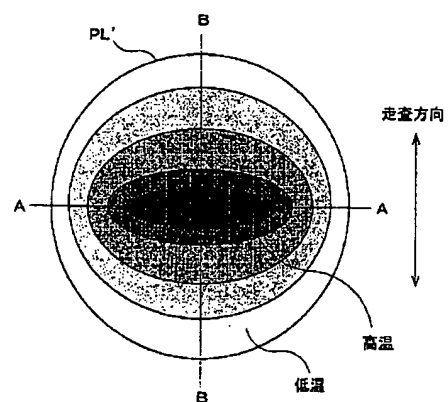
【図11】



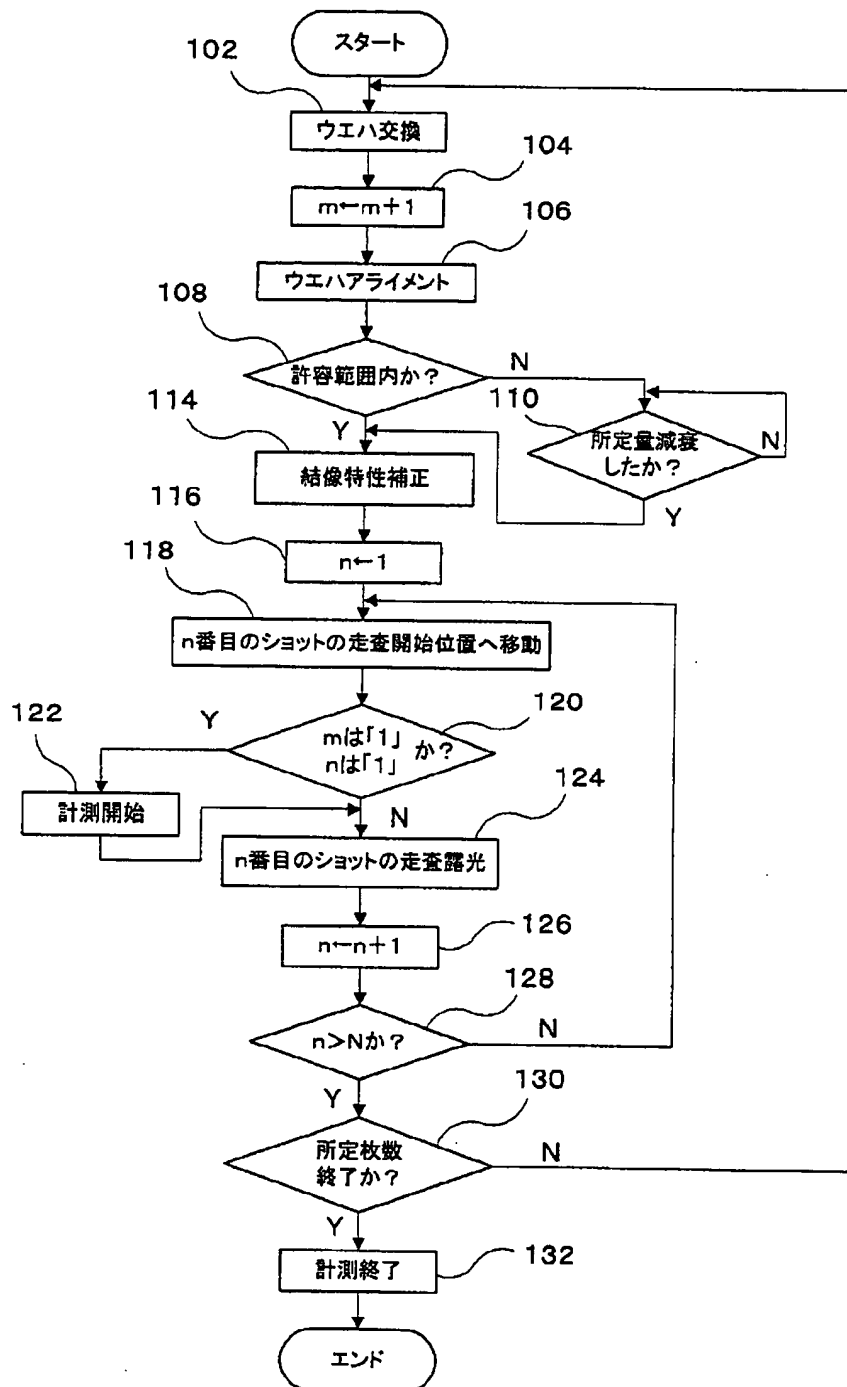
【図9】



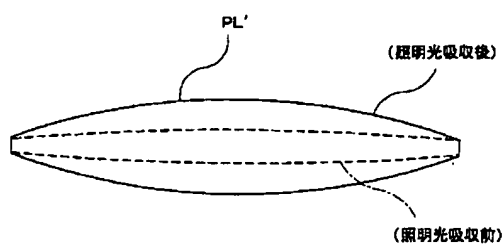
【図12】



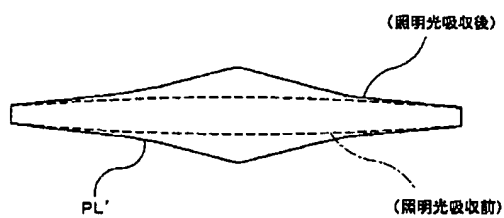
【図10】



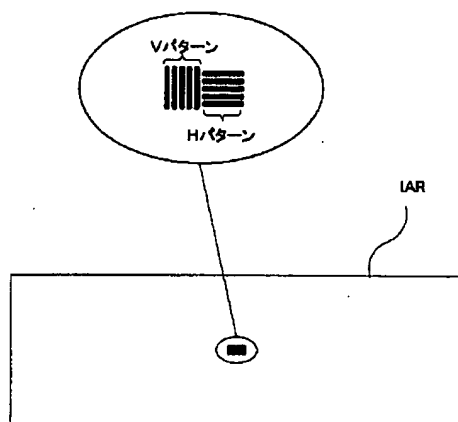
【図13】



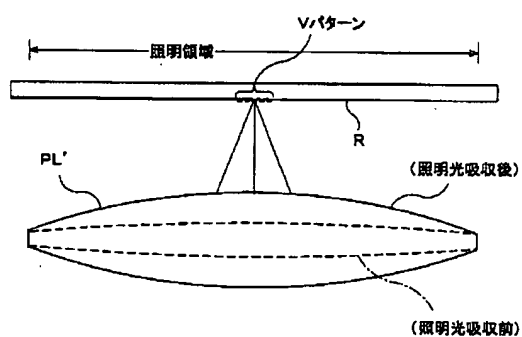
【図14】



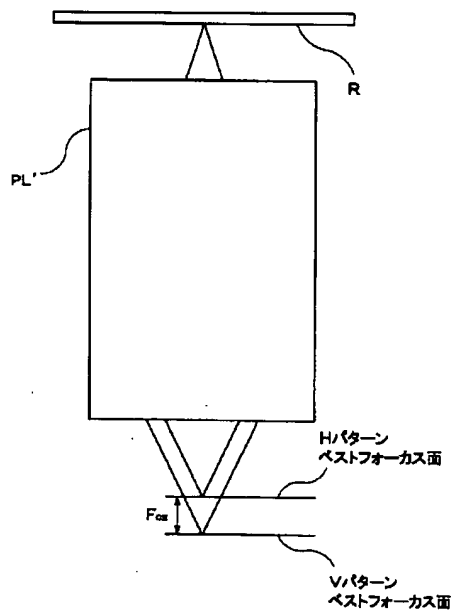
【図15】



【図16】



【図18】



【図17】

